

ESTUDIO EXPERIMENTAL DE UN COMPUESTO DE RESINA DE POLIÉSTER FORTALECIDO CON FIBRA DE TOTORA

Experimental Study of a Polyester Resin Composite Strengthened with Totorá Fiber

Estudo experimental de um compósito de resina de poliéster reforçado com fibra de totora

Javier Renato Moyano Arévalo, <https://orcid.org/0000-0002-7992-7444>

Esteban Fernando López Espinel, <https://orcid.org/0009-0005-7502-3463>

Giovanny Vinicio Pineda Silva, <https://orcid.org/0000-0002-2785-1249>

Antonio Gabriel Castillo Medina, <https://orcid.org/0000-0002-0045-7495>

¹Universidad Regional Autónoma de los Andes (UNIANDES), Ambato, Ecuador

*Autor para correspondencia email: ua.javierma42@uniandes.edu.ec

Para citar este artículo: Moyano Arévalo, J., López Espinel, E., Pineda Silva, G. y Castillo Medina, A. (2026). Estudio Experimental de un Compuesto de Resina de Poliéster Fortalecido con Fibra de Totorá. *Maestro y Sociedad*, 23(1), 579-588. <https://maestroysociedad.uo.edu.ec>

RESUMEN

Introducción: La investigación se centró en la caracterización mecánica de un material compuesto que combina resina de poliéster con fibra natural de totora en tres configuraciones: larga, corta y tejida, con una fracción volumétrica del 30%. El objetivo fue desarrollar un material adecuado para la industria automotriz. Los ensayos de tracción mostraron que las configuraciones de fibra larga y tejida superaron a la resina pura, con la fibra tejida alcanzando un esfuerzo máximo de tracción de 28.16 MPa y un módulo de elasticidad de 943.33 MPa. Estos resultados indican que las configuraciones de fibra larga y tejida mejoran significativamente las propiedades mecánicas del compuesto, haciéndolo más adecuado para aplicaciones automotrices. El estudio también valida el uso de fibras naturales como la totora en materiales compuestos, contribuyendo al desarrollo de soluciones sostenibles que pueden reducir el peso de los vehículos, optimizar la eficiencia energética y disminuir la huella de carbono en la industria automotriz.

Palabras clave: Totorá, mecánica, fibras naturales, poliéster, industria automotriz.

ABSTRACT

Introduction: The research focused on the mechanical characterization of a composite material combining polyester resin with natural totora fiber in three configurations: long, short and woven, with a volume fraction of 30%. The objective was to develop a material suitable for the automotive industry. Tensile tests showed that the long and woven fiber configurations outperformed the pure resin, with the woven fiber reaching a maximum tensile stress of 28.16 MPa and a modulus of elasticity of 943.33 MPa. These results indicate that the long and woven fiber configurations significantly improve the mechanical properties of the composite, making it more suitable for automotive applications. The study also validates the use of natural fibers such as totora in composite materials, contributing to the development of sustainable solutions that can reduce vehicle weight, optimize energy efficiency and decrease the carbon footprint in the automotive industry.

Keywords: Totorá, mechanics, natural fibers, polyester, automotive industry.

RESUMO

Introdução: Esta pesquisa focou na caracterização mecânica de um material compósito que combina resina poliéster com fibra natural de taboa em três configurações: longa, curta e tecida, com uma fração volumétrica de 30%. O objetivo foi desenvolver um material adequado para a indústria automotiva. Os ensaios de tração mostraram que as configurações

com fibra longa e tecida superaram a resina pura, com a fibra tecida atingindo uma resistência à tração máxima de 28,16 MPa e um módulo de elasticidade de 943,33 MPa. Esses resultados indicam que as configurações com fibra longa e tecida melhoram significativamente as propriedades mecânicas do compósito, tornando-o mais adequado para aplicações automotivas. O estudo também valida o uso de fibras naturais, como a taboa, em materiais compósitos, contribuindo para o desenvolvimento de soluções sustentáveis que podem reduzir o peso dos veículos, otimizar a eficiência energética e diminuir a pegada de carbono na indústria automotiva.

Palavras-chave: Cana-de-totora, mecânica, fibras naturais, poliéster, indústria automotiva.

Recibido: 15/1/2025 Aprobado: 5/2/2026

INTRODUCCIÓN

La industria automotriz está en constante evolución, buscando diseñar vehículos más eficientes, livianos y sostenibles. En este ámbito, los materiales compuestos se han vuelto cruciales por su capacidad de combinar ligereza y resistencia, mejorando el rendimiento de los vehículos y reduciendo su impacto ambiental. (Quagliano, 2006). Entre estos, los compuestos que emplean resina de poliéster como matriz son ampliamente utilizados debido a su facilidad de procesamiento y buen comportamiento mecánico. (Víctor H. Guerrero, 2013).

El desafío de equilibrar el desempeño con la sostenibilidad ha impulsado la exploración de fibras naturales como refuerzo en materiales compuestos. Las fibras naturales, como la totora derivada de la planta acuática *Schoenoplectus californicus*, son renovables, biodegradables y pueden ofrecer propiedades mecánicas comparables a las fibras sintéticas. (Younouss Dieye, 2016). La fibra de totora se destaca por su baja densidad y alta resistencia específica, siendo prometedora para aplicaciones automotrices.

Este artículo analiza experimentalmente un material compuesto de resina de poliéster reforzado con fibra de totora. (Msahli Slah, 2015). La fibra de totora se elige por su disponibilidad, bajo costo y su contribución a la sostenibilidad. (Richard S., 2016).

Para esta investigación, se fabricaron compuestos con diferentes configuraciones de fibra de totora, evaluando sus propiedades mecánicas mediante ensayos de tracción, según la norma ASTM.

El desarrollo de materiales compuestos reforzados con fibras naturales, como la totora, busca avanzar en el conocimiento de estos nuevos materiales y explorar su implementación en la fabricación de componentes automotrices, donde la reducción de peso y las propiedades mecánicas son cruciales.

MATERIALES Y MÉTODOS

En el proyecto se lleva a cabo una investigación exploratoria que incluye la revisión de artículos científicos, libros, revistas, normativas y otras fuentes académicas. Esta revisión es esencial para identificar los ensayos adecuados y evaluar la configuración óptima de la fibra de totora (corta, larga o tejida) con el fin de determinar las propiedades mecánicas del material compuesto.

Se adopta una metodología experimental que incluye tanto la formulación del compuesto del material como su caracterización. Para la caracterización del composite, se emplean la norma ASTM D3039 para realizar el ensayo de tracción.

Con los datos obtenidos, se lleva a cabo un análisis comparativo para evaluar cuál de las configuraciones del material ofrece mejores prestaciones. Este análisis se realiza mediante un experimento unifactorial con tres niveles: el factor considerado es el tipo de resina, y los niveles son las distintas configuraciones de fibra. Los datos se procesan utilizando un software estadístico, donde se determina la diferencia significativa a través del análisis de varianza (ANOVA) utilizando el criterio de F de Fisher.

Para la obtención de la materia prima se basa en una metodología de experimentación donde se define estrategias para definir fibras en tres configuraciones, fibra larga, fibra corta y fibra tejida, como se observa en la figura 1.

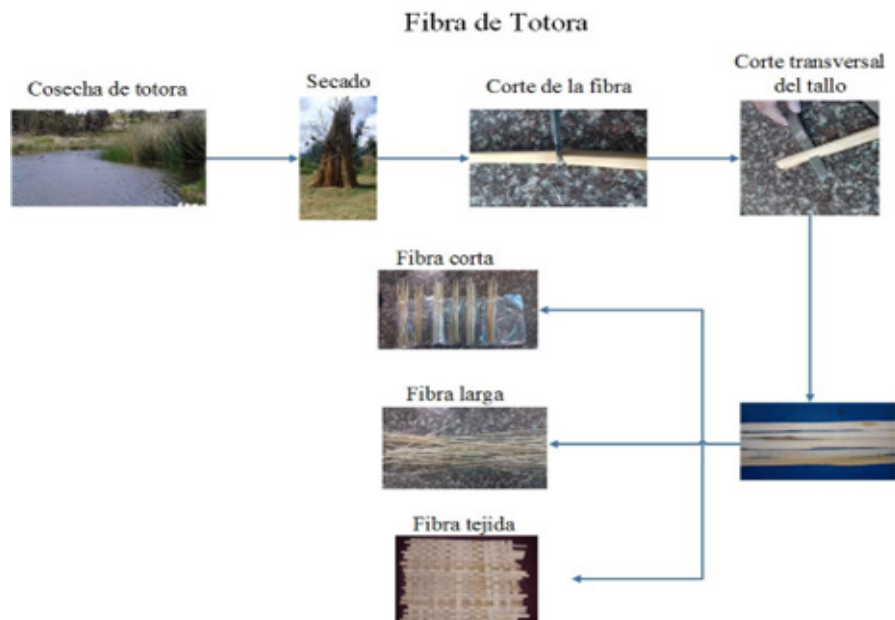


Figura 1. Metodología para la obtención de fibra de totora. Fuente: Autor

Existen diversos métodos para fabricar materiales compuestos, como la estratificación manual, el moldeo por extrusión, el moldeo por inyección, la compresión, la transferencia de resina y la aspersión (Guerrero, Davila, & Pontón, 2011). Para este estudio, considerando la necesidad de obtener probetas con buenos resultados y bajos costos, se ha optado por la estratificación manual como el proceso de fabricación.

La estratificación manual es una técnica antigua y sencilla para producir materiales compuestos con matriz de resina termoestable. En este método, el material de refuerzo puede configurarse como fibra corta, fibra continua tejida o no tejida, y se incorpora en un porcentaje máximo del 40 % en volumen (Guerrero, Dávila, & Pontón, 2011). Para el proceso de estratificación manual se encuentra definido varias etapas:

1. Al molde se le adiciona un agente de desmolde que puede ser una cera para retirar con facilidad la pieza final
2. Se aplica resina con una pistola de aspersión, con un rodillo o brocha.
3. Se coloca capas de refuerzo conjuntamente con resina preparada, además se pasa un rodillo o aprisionador para permitir que el refuerzo se impregne con la resina y así eliminar el aire comprimido y evitar imperfecciones en la pieza final.
4. Se deja que ocurra el tiempo de curado
5. Se retira la pieza del molde

Para determinar el comportamiento mecánico de un material, se realiza una prueba simple de tensión-deformación. Esta prueba se lleva a cabo cuando se aplica una carga estática o con cambios relativamente lentos a lo largo del tiempo de manera uniforme en una sección transversal de la superficie de un miembro. (Callister, 2014) Las tres formas principales en las que se puede aplicar la carga son: tensión, compresión y torsión, como se muestra en la figura 2.

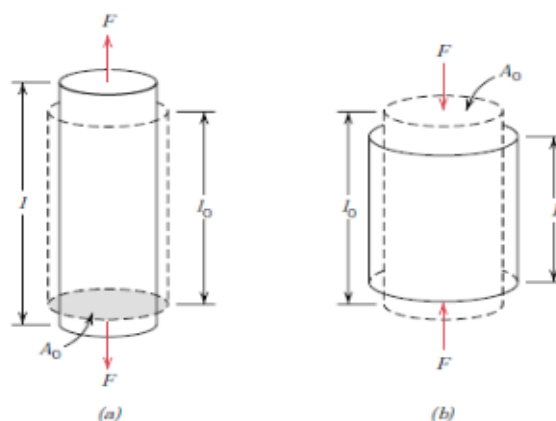


Figura 2. Esquema de aplicación de carga a tensión y compresión. Nota: La figura (a) da como una carga de tracción F la cual produce un alargamiento y una tensión lineal positiva punteadas representa la forma antes de la deformación; líneas continuas después de la deformación y en el esquema (b) una carga a compresión produce una contracción F y lineal negativa. Fuente. (Callister, 2014)

Tracción. Este es uno de los ensayos destructivos clave para determinar las propiedades mecánicas de los materiales. Durante este ensayo, el material se deforma hasta su rotura mediante la aplicación de una fuerza uniaxial a lo largo de su eje principal. (Guerrero, Davila, & Pontón, 2011)

Es el esfuerzo producido por la intensidad de fuerza ejercida por unidad de área, como se observa en la ecuación 1

$$\sigma_{\max} = F/A \quad (1)$$

Donde:

$\sigma_{\max}$ = Esfuerzo máximo (MPa)

F = carga máxima o fuerza máxima (kgf- N)

A =Área de la sección transversal mm^2

Deformación. Se determina bajo la siguiente ecuación 2.

$$\epsilon = (l_f - l_o) / l_o \quad (2)$$

Donde:

ϵ = Elongación

l_f = Longitud final (mm)

l_o = Longitud inicial (mm)

Módulo de elasticidad. También denominado módulo de Young se determinó mediante la ecuación 3:

$$E = \sigma_{\max} / \epsilon \quad (3).$$

Donde:

E= Módulo de elasticidad (MPa)

$\sigma_{\max}$ = Esfuerzo máximo (MPa)

ϵ = Elongación

Determinación de la fracción volumétrica de la fibra natural. Para determinar las fracciones volumétricas tanto como para la matriz y el refuerzo se considera la relación:

$$\rho_c = f_m \rho_m + f_f \rho_f \quad (6)$$

Donde:

ρ_c = Densidad del material compuesto

ρ_m =Densidad de la matriz

ρ_f =Densidad de la fibra

f_m =Fracción volumétrica de la matriz

f_f = Fracción volumétrica de la fibra

Se considera que:

$$f_m = 1 - f_f$$

La densidad del compuesto se determina mediante gravimetría, este proceso consiste en utilizar una probeta de 250 cm^3 , en el que se deposita agua a temperatura ambiente una cantidad de 200 cm^3 , posteriormente se sumerge completamente la probeta a flexión; se observó un cambio de volumen depositado en la probeta de 13.6 cm^3 como se indica en la figura 3A; también con la ayuda de una balanza digital se determinó una masa de 12.26 gr como indica la figura 3B, con estos valores se determina la densidad del material compuesto reforzado con totora con un valor de 0.894 gr/cm^3 .

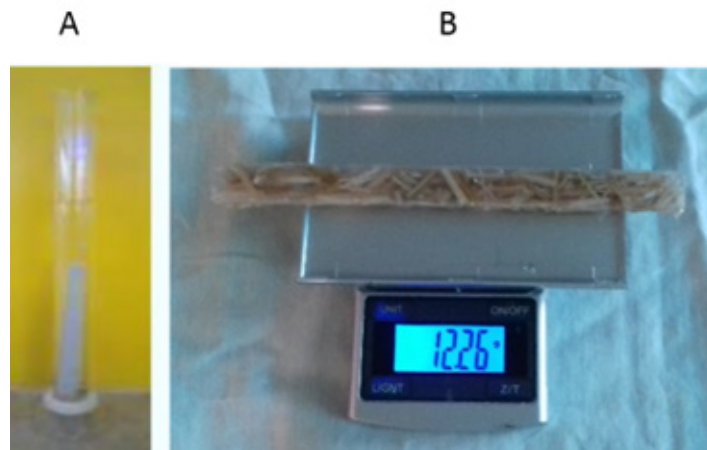


Figura 3. Determinación de la densidad y peso de las probetas. Nota: A= Determinación del volumen por gravimetría, B= determinación de la masa de la probeta

Entonces se considera:

$$\rho_c = 0.894 \text{ gr/cm}^3$$

$$\rho_m = 1.20 \text{ gr/cm}^3$$

$$\rho_f = 0.18 \text{ gr/cm}^3$$

$$f_m = 1 - f_f$$

$$\rho_c = f_m \rho_m + f_f \rho_f$$

$$\rho_c = (1 - f_f) \rho_m + f_f \rho_f$$

$$0.894 \text{ gr/cm}^3 = (1 - f_f) 1.20 \text{ gr/cm}^3 + f_f 0.18 \text{ gr/cm}^3$$

$$0.894 \text{ gr/cm}^3 = 1.20 \text{ gr/cm}^3 - f_f (1.20 \text{ gr/cm}^3) + f_f (0.18 \text{ gr/cm}^3)$$

$$0.894 \text{ gr/cm}^3 - 1.20 \text{ gr/cm}^3 = -f_f (1.20 \text{ gr/cm}^3) + f_f (0.18 \text{ gr/cm}^3)$$

$$-0.306 \text{ gr/cm}^3 = -f_f (1.02 \text{ gr/cm}^3)$$

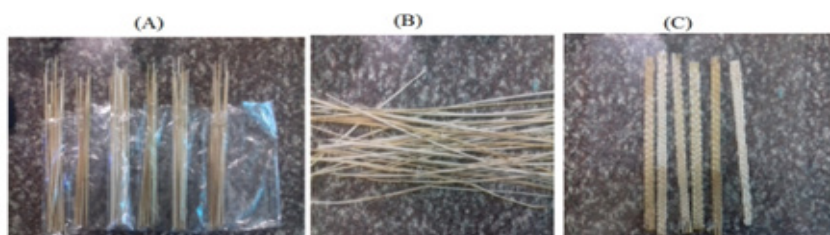
$$f_f = 0.3 = 30 \%$$

Se proponen tres combinaciones de fibras: corta, larga y tejida, con una fracción volumétrica del 30%. Esta fracción volumétrica fue elegida principalmente porque, a porcentajes menores, la configuración tejida no puede ser fabricada sin que se produzcan roturas en las fibras.

Por otro lado, a porcentajes mayores, la configuración tejida excede el espesor especificado por la norma ASTM D-3039 para el ensayo de tracción. Se elaboraron las fracciones volumétricas de fibra de totora para los ensayos de tracción, flexión e impacto, como se muestra en la

figura 4. Fracciones volumétricas. Nota: (A) fibra corta,

(A) larga, (C) tejida. Fuente: Autor



Las fibras cortas tienen una longitud aproximada de 1.5 cm, la cual se utilizará en el ensayo de tracción. Las fibras largas y tejidas tendrán una longitud de 24 cm para los ensayos de tracción,

Para asegurar un mejor contacto de las fibras y evitar problemas de alineación con el molde, durante la fabricación de las probetas de resina de poliéster reforzadas con fibras largas de totora, se realiza un premojado de las fibras (Guerrero, Dávila, & Pontón, 2011).

Tiempo de Curado. El tiempo de curado es crucial para la caracterización del material compuesto. El tiempo mínimo de curado a temperatura ambiente es de 15 días. Sin embargo, es posible reducir este tiempo utilizando un horno a 40 °C, donde el tiempo de curado puede variar entre 16 y 24 horas. En la tabla 1 se muestra el tiempo de curado de cada una de las configuraciones del material

Tabla 1. Tiempos de curado de las probetas de matriz polimérica y refuerzo de totora

Configuración	Tiempo de curado de la probeta a caracterizar
F.C.S 30 %	Material compuesto reforzado con 30 % de fracción volumétrica de fibra corta de totora sin tratamiento térmico. Gelificación (10-15) minutos, endurecimiento (45-30) minutos y curado final 15 días a temperatura ambiente
F.L.S 30%	Material compuesto reforzado con 30 % de fracción volumétrica de fibra larga de totora sin tratamiento térmico. Gelificación 10-15 minutos, endurecimiento 45-30 minutos y curado final 15 días a temperatura ambiente
F.T.S 30 %	Material compuesto reforzado con 30 % de fracción volumétrica de fibra tejida de totora sin tratamiento térmico. Gelificación 10-15 minutos, endurecimiento 45-30 minutos y curado final 15 días a temperatura ambiente
F.C.T 30 %	Material compuesto reforzado con 30 % de fracción volumétrica de fibra corta de totora para tratamiento térmico. Gelificación 10-15 minutos, endurecimiento 45-30 minutos y curado final 15 días a temperatura ambiente
F.L.T 30 %	Material compuesto reforzado con 30 % de fracción volumétrica de fibra larga de totora para tratamiento térmico. Gelificación 10-15 minutos, endurecimiento 45-30 minutos y curado final 15 días a temperatura ambiente
F.T.T. 30 %	Material compuesto reforzado con 30 % de fracción volumétrica de fibra tejida de totora para tratamiento térmico. Gelificación 10-15 minutos, endurecimiento 45-30 minutos y curado final 15 días a temperatura ambiente

Nota: En la tabla se representa los tiempos de curado de las distintas probetas: Fibra corta (FC), Fibra larga (FL), Fibra tejida (FT), se utiliza para probetas sin tratamientos térmicos (S) y con tratamientos térmicos (T). Fuente: Autor

RESULTADOS

En esta etapa se muestra los resultados de los ensayos realizados al material compuesto de resina de poliéster 33000 y totora según las normas ASTM, para una fácil comprensión de los datos obtenidos son tabuladas en Excel donde se muestran propiedades mecánicas como deformación máxima, esfuerzo máximo elongación entre otros.

Para el desarrollo del ensayo a tracción se elaboraron 8 probetas (sabiendo que la norma ASTM, establece un mínimo de 5 probetas)

La figura 5 representa el esfuerzo máximo, la figura 6 se representa el módulo de elasticidad máximo, alcanzado por cada probeta en sus distintas configuraciones, además se representa la media de los ensayos realizados.



Figura 5. Esfuerzo máximo a tracción de cada configuración

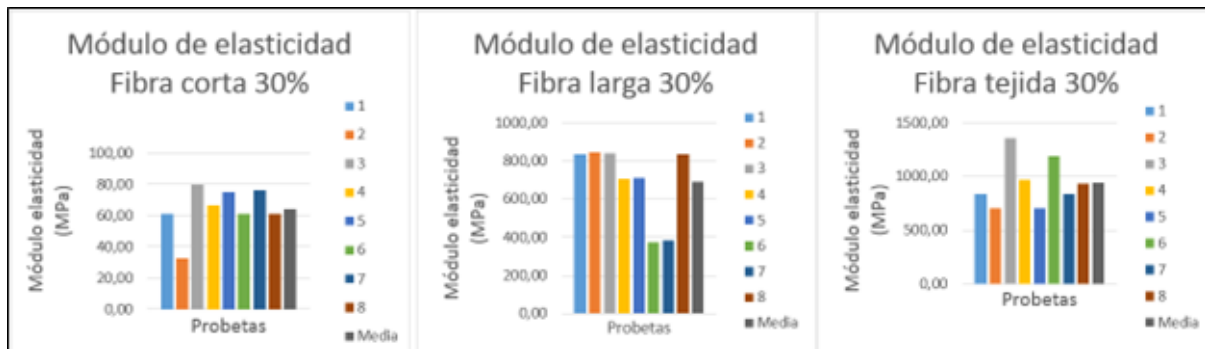


Figura 6. Módulo de elasticidad de cada configuración

En la figura 7 se representa la grafica esfuerzo deformacion (promedio) de las tres configuraciones (fibra corta, fibra larga, fibra tejida)

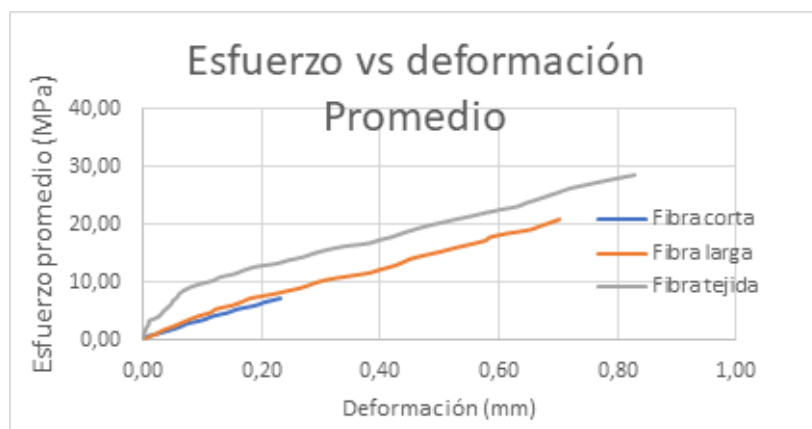


Figura 7. Gráfica esfuerzo vs deformación ensayo de tracción, de fibra corta, fibra larga, fibra tejida

Para determinar qué configuración continuará con el desarrollo de los ensayos destructivos (flexión e impacto), se utiliza un programa estadístico para comparar la media y el intervalo de confianza del 95 % de Fisher de los datos obtenidos del esfuerzo máximo de las tres configuraciones. Estos resultados se presentan en la figura 8, mientras que el módulo de elasticidad se muestra en la figura 9.



Figura 8. Comparación de medias del esfuerzo máximo

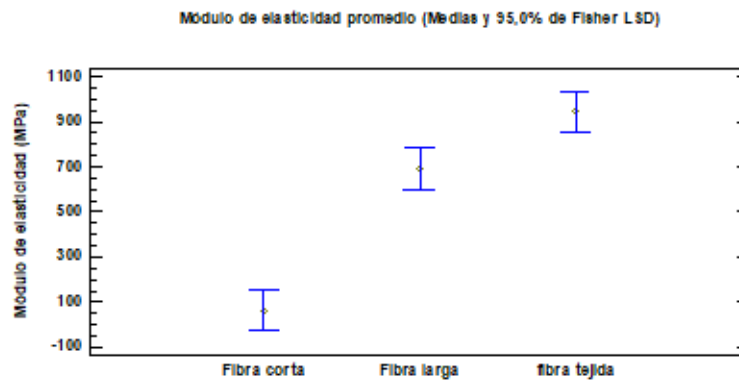


Figura 9. Comparación de medias del módulo de elasticidad

Como se observa en las figuras 58 y 59, los datos no presentan una variación significativa entre los límites superior e inferior de los valores obtenidos para cada configuración. Además, se determina que la media de la fibra corta es menor en comparación con las otras dos configuraciones (fibra larga y fibra tejida).

Debido a que la fibra tejida y la fibra larga muestran valores superiores en sus propiedades mecánicas, se continuará con estas configuraciones para el desarrollo de los ensayos de flexión e impacto.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Para obtener una mejor interpretación de los resultados se realiza tablas comparativas donde se puede evidenciar el comportamiento de cada probeta en el ensayo correspondiente.

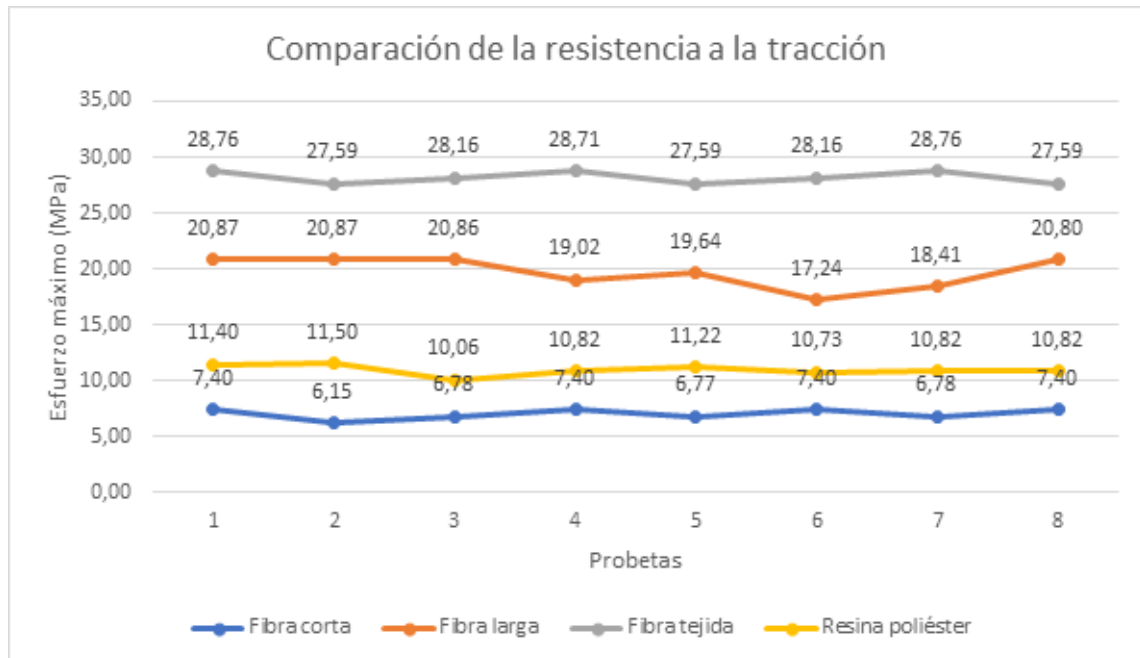


Figura 10. Resultados promedio de la resistencia a la tracción de todos los materiales. Fuente: Autor

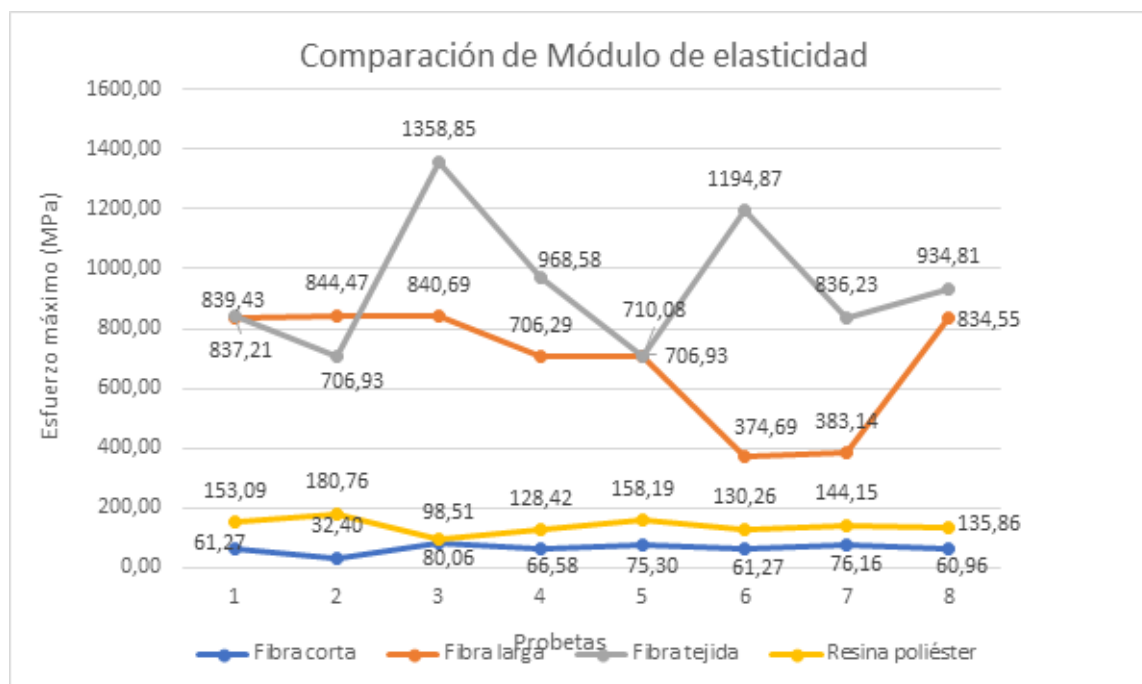


Figura 11. Resultados promedio del módulo de elasticidad de todos los materiales.

Fuente: Autor

Al realizar la prueba de tracción se determina las propiedades mecánicas como el esfuerzo máximo y el módulo de elasticidad máximo representadas en las figuras 8 y 9, además se establece una comparación estadística de la media y 95 % de Fisher, entre las tres configuraciones (Fibra corta, fibra larga, fibra tejida), y se establece que la configuración de fibra tejida posee un valor más alto en comparación a la fibra larga y corta.

Se evidencia en el diagrama Esfuerzo-Deformación (figura 7) la ausencia de un punto de fluencia definido y un rango plástico antes de la fractura.

Al realizar la prueba de tracción, se determinan las propiedades mecánicas como el esfuerzo máximo y el módulo de elasticidad máximo, representados en las figuras 8 y 9. Además, se establece una comparación estadística de la media y el intervalo de confianza del 95% de Fisher entre las tres configuraciones (fibra corta, fibra larga, fibra tejida). Se concluye que la configuración de fibra tejida posee un valor más alto en comparación con las configuraciones de fibra larga y corta.

CONCLUSIONES

La resistencia a la tracción y el módulo de elasticidad de los especímenes caracterizados dependen de la configuración interna de la fibra, no de la masa.

Los ensayos de tracción realizados en el material compuesto con una matriz de resina de poliéster al 70% y un refuerzo de totora al 30% muestran que las configuraciones de fibra tejida y larga son favorecidas, con valores de resistencia a la tracción de 19.71 MPa y 28.16 MPa, respectivamente. De manera similar, el módulo de elasticidad muestra valores de 691.39 MPa para la fibra larga y 943.33 MPa para la fibra corta.

En la curva Esfuerzo-Deformación (figura 7) del material compuesto, se observa la ausencia de un punto de fluencia definido y una zona plástica. Las fracturas resultantes de los ensayos destructivos son perpendiculares a la fuerza aplicada y no presentan cono de rotura, características típicas de un material frágil.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Askeland, D. (2004). Ciencia e ingeniería de materiales. Mexico: International Thomson editores.
- Aza Medina, L. C. (Mayo de 2016). Totora como material de aislamiento Térmico: Propiedades y potenciales. Tesis Maestría, Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, España.
- Callister, W. (2014). Introduccion a la ciencia e ingeniería de de los materiales . En W. Callister, Introduccion a la ciencia e ingeniería de de los materiales . Estados Unidos: Jhon Wiley & Sons.
- Guerrero, D. (2014). Obtención de materiales compuestos híbridos de matriz de poliéster reforzada con

fibras de coco. Escuela Politécnica Nacional, 9.

Guerrero, V., Davila, J. G., & Pontón, P. (2011). Nuevos materiales aplicaciones estructurales e industriales . ResearchGate.

Hidalgo, J. (2007). Totor material de construcción. Tesis de Arquitecto. Cuenca, Azuay, Ecuador.

Mecanica y automocion. (2 de Febrero de 2009). Mecanica y automocion. Obtenido de <http://mecanicayautomocion.blogspot.com/2009/03/el-sistema-de-transmision.html>

Morales, G. (2008). PProcesado y caracterizacion de materiales compuestos de matriz polimérica reforzados con nanofibras de carbono para aplicaciones tecnológicas. Madrid.

Msahli Slah, R. S. (2015). Flexural Properties of Typha Natural Fiber-Reinforced Polyester Composites. 1-8.

Páez, J. (2007). Obtencion de compuestos de polipropileno reforzado con fibras de abacá mediante moldeo por compresión. Quito.

Quagliano, E. (6 de 12 de 2006). Tecnología para todos . Obtenido de <http://tecnologiaparatodos.com.ar/noticias.php?op=eco¬a=67012>

Richard Budynas, K. N. (2012). Diseño en ingeniería mecánica de Shigley (Octava edición). Mexico: Mcgraw Hill Latinoamerica Editores SA.

Stupenengo, F. (2011). Materiales y materias primas . En F. Stupenengo, Materiales y materias primas . Buenos Aires : Saavedra.

Totor SISA SCC. (JULIO de 2009). Totor SISA S.C.C. Obtenido de <http://totorasisa.blogspot.com/>

Víctor H. Guerrero. (2013). Materiales compuestos de matriz poliéster reforzados con fibras naturales y sintéticas. Escuela Politécnica Nacional, 5.

Younouss Dieye, V. S. (2016). Thermo-mechanical characterization of a building material based on Typha. 1-5.

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Declaración de responsabilidad de autoría

Javier Renato Moyano Arévalo, Esteban Fernando López Espinel, Giovanny Vinicio Pineda Silva y Antonio Gabriel Castillo Medina: metodología, investigación, redacción de artículo